

## SINTESIS PUPUK LEPAS LAMBAT BERBASIS KITOSAN-BIOCHAR-UREA SEBAGAI MATERIAL POTENSIAL PELEPASAN NITROGEN

Martasiana Karbeka<sup>1\*</sup>, Zakarias Adrianto Mautuka<sup>1</sup>, Diana Oktovina Tung Lily

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, Universitas Tribuana Kalabahi, Kalabahi, Indonesia

\*Email: karbekamartasiana@gmail.com

### Article History:

Received: September 24, 2024

Revised: November 15, 2024

Accepted: November 18, 2024

Published: December 5, 2024

### ABSTRACT

*The fabrication of slow-release urea fertilizer beads using chitosan and chitosan-biochar as coating materials has been accomplished. The beads were synthesized by solidifying chitosan-urea and chitosan-biochar-urea hydrogels in a NaOH solution. Characterization of the chitosan-urea composite beads (BKU) and chitosan-biochar-urea beads (BKBU) was conducted through Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy, along with water intake (swelling) and nitrogen release tests in aqueous media at time intervals of 24, 72, 120, and 168 hours. The FTIR spectra of BKU and BKBU beads displayed functional group peaks associated with biochar (hydroxyl and carboxyl), chitosan (amine and hydroxyl), and urea (amine and carbonyl), along with others supporting group. Water intake rates were 72% for BKU and 81% for BKBU, which impacted nitrogen release patterns. BKU exhibited a faster nitrogen release compared to BKBU, indicating that BKBU is more suitable for use as a slow-release fertilizer due to its more gradual nitrogen release mechanism.*

**Keywords:** chitosan, biochar, urea, slow-release fertilizer

### PENDAHULUAN

Unsur hara makro nitrogen, fosfor dan kalium (NPK) sangat diperlukan dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Setiap unsur hara makro memiliki peran secara spesifik untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman dan untuk nitrogen berperan dalam pertumbuhan daun sehingga daun menjadi rimbun dan segar (Susanti dkk., 2021). Salah satu sumber nitrogen yakni urea dengan kandungan nitrogen sebesar 46%. Ketersediaan urea yang paling banyak diminati yakni urea  $\{CO(NH_2)_2\}$  yang berbentuk butiran putih dibandingkan beberapa jenis pupuk urea lainnya dikarenakan harga yang lebih terjangkau dan lebih mudah diperoleh di pasaran. Namun, urea jenis ini bersifat mudah larut dalam air dan mengalami proses pencucian (*leaching*) dalam bentuk nitrat ( $NO_3^-$ ) dan amonium ( $NH_4^+$ ) maupun ke udara dalam bentuk gas amonia ( $NH_3$ ) (Hasibuan, 2023; Aziz, 2022). Sifat higroskopis urea menyebabkan terjadinya kehilangan nitrogen di lingkungan sebesar 40-70% (Kuczuk, 2019).

Untuk mengurangi kehilangan nitrogen yang tinggi dari proses pencucian maka perlu dilakukan pelapisan urea dengan material tertentu untuk mencegah terjadinya kontak langsung urea dengan air (Jayanudin & Lestari, 2020).

Salah satu bahan yang berpotensi sebagai matriks pelapis urea adalah kitosan dengan beberapa keunggulan seperti (1) kitosan merupakan polimer alam sehingga lebih mudah terurai dan aman terhadap lingkungan, (2) kitosan merupakan material berpori yang sangat memungkinkan untuk terjadinya pertukaran air dan udara sehingga memudahkan proses biodegradasi, (3) adanya gugus fungsi kitosan yang dapat berinteraksi dengan urea sehingga mendukung proses lepas lambat nitrogen, dan (4) kelarutan kitosan dalam asam membentuk hidrogel dengan viskositas yang dapat disesuaikan dalam proses pelapisan urea (Amin et al., 2019; Herianus et al., 2024; Mashuni et al., 2022).

Kitosan merupakan polimer alam dengan rantai lurus dan salah satu kelemahan polimer berantai lurus yakni rendahnya sifat mekanik sehingga ikatan struktur jaringan akan mudah putus ketika mendapat gaya dari luar. Kekuatan sifat mekanik dapat ditingkatkan dengan menambahkan material lainnya membentuk matriks kitosan-pati, matriks kitosan-alginate, matriks kitosan-silika, kitosan-alginat, kitosan-pektin (Sholeha et al., 2024); Hartatik dkk., 2020). Selain beberapa matriks tersebut, penggunaan biochar dapat digunakan sebagai material pengisi pada polimer kitosan untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan mengurangi pelepasan nitrogen.

Biochar memiliki struktur yang keras dan stabil secara fisik serta memiliki permukaan yang berpori dan kaya akan gugus fungsional seperti  $-OH$  dan  $-COOH$  sehingga Gugus-gugus ini dapat berinteraksi dengan gugus amina ( $-NH_2$ ) dan hidroksil ( $-OH$ ) pada kitosan melalui ikatan hidrogen atau interaksi ionik, yang dapat meningkatkan adhesi antara biochar dan kitosan serta meningkatkan kekakuan dan kekuatannya mekanik komposit (Herlambang dkk., 2022). Penggunaan biochar tidak hanya meningkatkan kekuatan mekanik tetapi juga mengurangi kemungkinan deformasi atau kerusakan dibawah tekanan (Susilowati et al., 2018).

Selain itu, penggunaan biochar memberikan beberapa keuntungan tambahan dibandingkan material lainnya dikarenakan biochar merupakan bahan pembenah tanah yang dapat mendukung ketersediaan unsur hara menjadi lebih tinggi. Keunggulan lainnya, biochar dapat memperbaiki struktur tanah untuk menunjang kehidupan mikroba-mikroba tanah sehingga mendukung proses penguraian bahan organik dalam tanah (Zakarias Mautuka, Astriana Maifa, 2022).

Pada penelitian ini, biochar digunakan sebagai bahan pengisi pada matrik gel kitosan untuk pelapisan (*coating*) urea melalui proses pemadatan dalam larutan basa membentuk butiran atau bead. Kitosan merupakan material yang tidak larut dalam air sedangkan biochar merupakan material berpori yang bersifat *semi permeable* atau *impermeable* sehingga urea yang tersalut dalam bentuk bead akan melepaskan nitrogen secara terkontrol.

## **METODE PENELITIAN**

### **Bahan**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain urea, biochar sekam padi, kitosan 8% (*merck*), asam asetat 5% (*merck*), NaOH 2 M; (*merck*), NaOH 40%, indikator fenolftalein (PP) (*merck*), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat (*merck*), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,25 N, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (*merck*), Indikator Conway (*merck*).

### **Peralatan**

Peralatan yang digunakan pada penelitian antara lain *magnetic stirrer*, kertas saring, batang pengaduk, *syringe*, neraca analitik (NA Denver instrument M-220 D), kawat kasa, ayakan ukuran 420 mesh, Labu kjeldahl serta alat instrumen untuk karakterisasi yaitu FTIR (Shimadzu, Type : IRPrestige21).

### **Pembuatan biochar sekam padi**

Proses pembuatan biochar merujuk pada penelitian sebelumnya (Karbeka & Lanula, 2022), kawat kasa digulung membentuk lingkaran berdiameter 20 cm kemudian sekam padi ditempatkan pada sisi-sisi kawat kasa. Bahan yang mudah dibakar seperti ranting kering, kayu kering dimasukkan ke dalam kawat kasa untuk membakar sekam padi. Sekam padi dibakar sampai membentuk arang sekam kemudian dibiarkan dingin dan dihaluskan kemudian diayak.

### **Pembuatan bead komposit kitosan biochar urea**

Pembuatan bead komposit merujuk pada (Susilowati dkk., 2018) dengan beberapa modifikasi. Pembuatan larutan kitosan 8% dilakukan dengan melarutkan 4 gram kitosan ke dalam 50 ml larutan asam asetat 5% kemudian diaduk dengan magnetic stirrer hingga membentuk larutan. Biochar sebanyak 4 gram ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan kitosan sambil distirer hingga homogen. Campuran gel kitosan-biochar yang dihasilkan kemudian dimasukkan 5 gram urea dan diaduk hingga urea larut. Pembuatan bead

pupuk dilakukan dengan meneteskan campuran ke dalam larutan NaOH 2 M menggunakan *syringe*. Bead yang dihasilkan bersifat basa sehingga dilakukan proses penetralan dengan cara pencucian menggunakan aquades. Sebagai penanda bahwa bead telah netral maka dilakukan uji negatif menggunakan indikator fenolftalein (PP).

### **Karakterisasi FTIR**

Karakterisasi bead pupuk dilakukan dengan menggunakan FTIR pada range frekuensi 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ . Lalu, serapan khas dari tiap gugus fungsi yang ditampilkan dalam spektra FTIR dianalisis menggunakan referensi, untuk mengidentifikasi molekul hasil sintesis.

### **Pengujian Daya Penyerapan Air (*swelling*)**

Daya serap air mengikuti prosedur (Lestari dkk., 2022) dengan modifikasi sesuai penelitian yang dilakukan. Sebanyak 0,5 gram *bead* pupuk direndam dalam gelas kimia 25 mL yang berisi aquades selama 24 jam pada suhu kamar kemudian disaring. Residu bead pupuk yang dihasilkan kemudian ditimbang. Besar daya serap air dihitung menggunakan persamaan berikut, dimana  $W_{wet}$  adalah massa basah benda uji (gr) dan  $W_{dry}$  adalah massa kering benda uji (gram).

$$\% \text{ Swelling} = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}} \times 100\%$$

### **Uji Pelepasan Nitrogen metode kjeldahl (SNI 2801:2010)**

Sebanyak 5 gram sampel dimasukkan dalam labu kjeldahl kemudian ditambahkan 25 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat secara perlahan. Sampel kemudian didestruksi dengan cara pemanasan secara perlahan hingga terbentuk asap putih atau larutan berwarna jernih. Larutan didinginkan kemudian dimasukkan dalam labu takar 500 ml dan diencerkan hingga tanda batas. Disiapkan alat destilasi, dipipet 25 ml larutan yang telah diencerkan kemudian dimasukkan dalam labu destilasi lalu ditambahkan air hingga volume 300 ml dan ditambahkan beberapa tetes indikator PP dan penambahan NaOH 40% hingga membentuk larutan berwarna merah. Disiapkan erlenmeyer sebagai penampung destilat dengan dimasukkan 50 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,25 N dalam erlenmeyer yang mengandung beberapa tetes indikator campuran. Proses destilasi dilakukan hingga dihasilkan kurang lebih 100 mL destilat. Destilat yang dihasilkan kemudian dititrasi dengan NaOH 0,25 N standar sampai titik akhir titrasi dicapai yang ditandai dengan

perubahan warna dari hijau muda menjadi merah muda. Total nitrogen (dalam persen) dihitung menggunakan persamaan berikut.

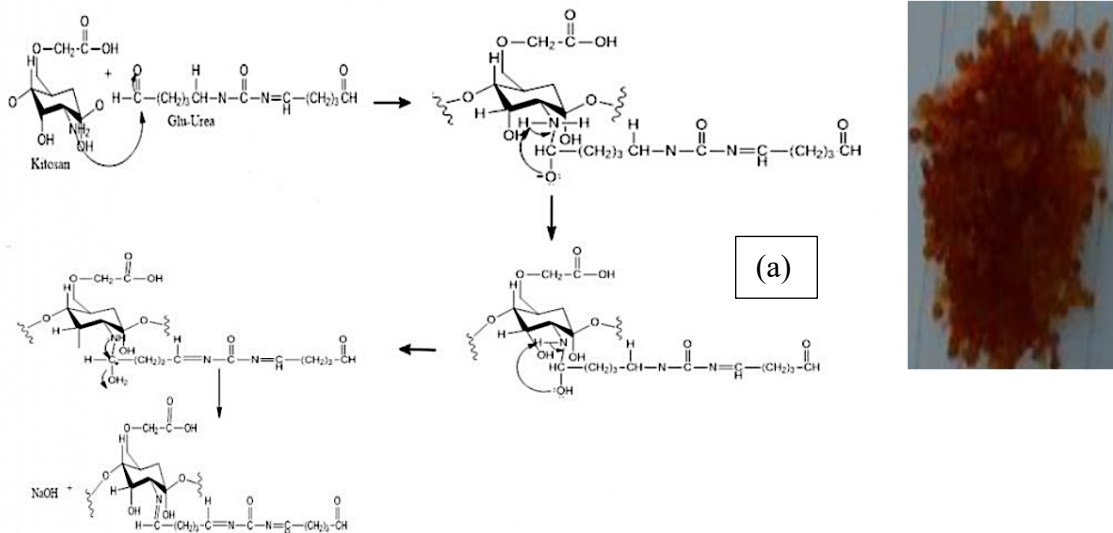
$$\text{Total nitrogen \%} = \frac{(V1-V2) \times N \times 14.008 \times f}{W \times 1000} \times 100$$

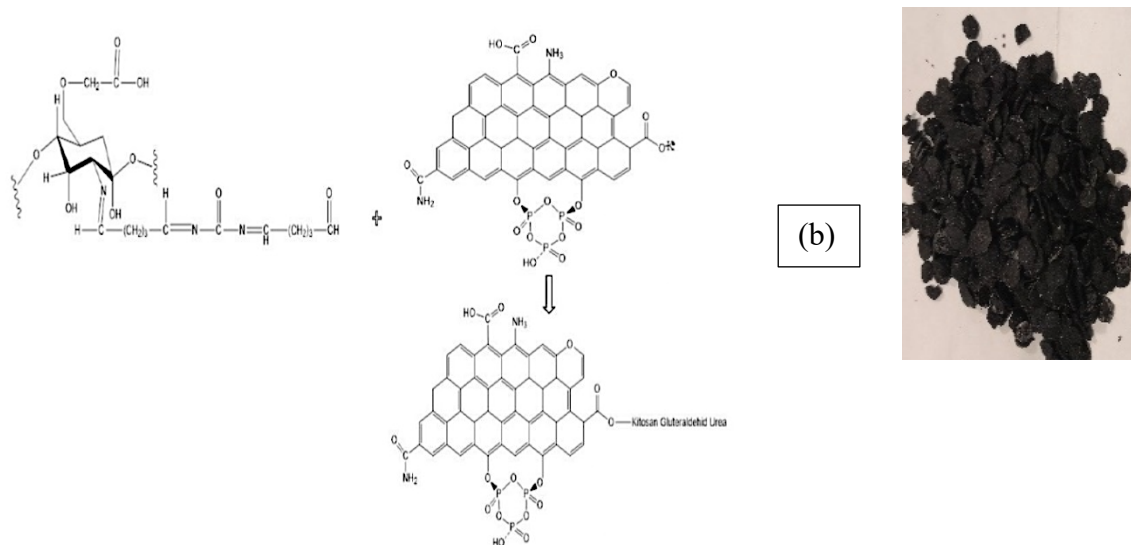
Dimana V1 adalah volume NaOH 0.25 N yang dipakai pada titrasi blanko (mL) ; V2 adalah volume NaOH 0.25 N yang dipakai pada titrasi sampel (mL) ; N adalah normalitas NaOH 0,25 N yang dipakai sebagai titran; W adalah bobot sampel (gram); 14,008 adalah berat atom (BA) nitrogen; f adalah faktor pengenceran.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sintesis Komposit Bead Kitosan Biochar Urea

Kitosan tidak larut dalam air dan hanya larut dalam larutan asam seperti asam asetat membentuk gel. Proses sintesis bead pupuk urea dilakukan dengan proses pelapisan menggunakan kitosan dan biochar. Biochar didispersikan dalam air dan ditambahkan urea agar urea terlarut diadsorpsi dalam pori biochar dan campuran dimasukkan dalam gel kitosan sehingga proses pelapisan menjadi lebih efektif. Bead terbentuk dari larutan campuran kitosan, biochar dan urea yang ditetaskan ke dalam NaOH menggunakan *syringe* hingga terbentuk bead yang bersifat basa. Bead dapat terbentuk dikarenakan terjadinya proses pematatan kitosan dalam NaOH. Bead yang terbentuk dan reaksi hipotetik terdapat pada Gambar 1.





**Gambar 1.** (a) Bead Kitosan Urea dan Mekanisme Reaksi Hipotetik; (b) Bead Kitosan Biochar Urea dan Mekanisme Reaksi Hipotetik

Biochar dan urea yang telah dicampur ke dalam gel kitosan membentuk campuran homogen sehingga ketika terjadi proses pemadatan dalam pembentukan bead maka biochar dan urea secara langsung terdapat di dalam bead yang terbentuk. Kitosan memiliki gugus amina ( $-NH_2$ ) yang bisa berinteraksi dengan ion  $OH^-$  dari NaOH. Ketika kitosan dilarutkan dalam asam asetat maka gugus amina akan terprotonasi menjadi  $-NH_3^+$  sehingga ketika dimasukkan dalam NaOH maka ion  $OH^-$  akan menetralkan proton pada gugus amina, mengubahnya kembali menjadi gugus amina netral ( $-NH_2$ ). Pada proses ini akan melepaskan molekul air dan menyebabkan pemadatan dalam bentuk bead.

Bead terbentuk dalam larutan NaOH yang bersifat basa sehingga bead yang dihasilkan bersifat basa yang dibuktikan dengan pengujian menggunakan pH meter menunjukkan pH 14. Proses penetralan bead dilakukan dengan cara pencucian dan filtrat hasil cucian dilanjutkan dengan uji negatif menggunakan indikator fenolftalein (PP). Fenolftalein bersifat basa yang menghasilkan warna merah dalam larutan basa dan tidak berwarna dalam larutan asam atau netral. Pada awal pencucian bead, air sisa pencucian menghasilkan warna merah ketika ditetesi indikator pp sehingga pencucian terus dilakukan hingga uji negatif dengan indikator PP menunjukkan tidak terjadi perubahan warna (bead telah netral).

### Karakterisasi Gugus Fungsi

Karakterisasi gugus fungsi menggunakan FTIR ditujukan untuk mengetahui perbedaan spektra yang dihasilkan akibat adanya perbedaan campuran bead pupuk yang dihasilkan yakni bead kitosan urea (BKU) dan bead kitosan biochar urea (BKBU). Spektra FTIR dapat menunjukkan puncak-puncak yang spesifik dari kitosan, urea dan biochar sehingga dua jenis bead yang dihasilkan memberikan spektra FTIR yang berbeda sebagai dasar keberhasilan proses sintesis yang telah dilakukan. Data hasil karakterisasi gugus fungsi terdapat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakterisasi Gugus Fungsi pada BKU dan BKBU

Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Interpretasi
<i>Beads kitosan urea (BKU)</i>	
3200 – 3400	Vibrasi ulur –OH dan tumpang tindih dengan vibrasi ulur gugus –NH dari kitosan dan urea
1535,13	vibrasi tekuk gugus –NH dari kitosan dan urea
1691,75	Vibrasi ulur C=O yang merupakan salah satu gugus spesifik pada urea
1460,11	Vibrasi tekuk C–H dari (–CH <sub>3</sub> )
<i>Beads kitosan biochar urea (BKBU)</i>	
3200-3400 (puncak sangat melebar)	Vibrasi ulur –OH dan tumpang tindih dengan vibrasi ulur gugus –NH. Adanya peningkatan jumlah gugus OH dari biochar yang berasal dari gugus fungsi OH dan COOH.
1050	Vibrasi ulur C–N
1600 – 1400	Gugus C=C aromatik dan mengalami tumpang tindih dengan gugus C=O
850 – 700 (puncak baru)	Vibrasi ulur gugus C–H aromatik dari biochar

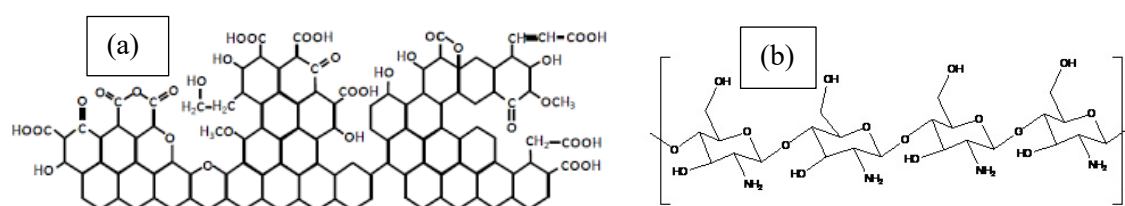
### Analisis Daya Serap Air (*Swelling*)

Pengujian daya serap air (DSA) dilakukan untuk mengetahui efisiensi penyerapan air oleh matriks bead pupuk BKU dan BKBU. Semakin banyak air yang terserap maka kemampuan *swelling* semakin tinggi. Hasil uji daya serap air terdapat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Uji Daya Serap Air (DSA) oleh BKU dan BKBU

Sampel	Ulangan ke-	Berat Sampel (g)		DSA (%)	Rata-rata DSA (%)
		Kering	Basah		
BKU	1	0,50	0,82	64	72
	2	0,50	0,82	80	
BKBU	1	0,50	0,85	70	81
	2	0,50	0,96	92	

Berdasarkan Tabel 2, diketahui bahwa persen DSA BKBU sebesar 81% lebih tinggi dari BKU yang hanya sebesar 72%. Pada dasarnya untuk BKU menggunakan kitosan sebagai bahan pelapis urea dengan pembentukan hidrogel kitosan melalui jaringan taut silang polimer membentuk polimer dengan struktur linier. Salah satu kelemahan polimer dengan struktur linier yakni kekuatan daya ikat rendah sehingga menyebabkan penurunan kekuatan mekanik pada polimer kitosan. Rendahnya kekuatan mekanik berdampak pada kemampuan mengikat molekul air oleh BKU meskipun terdapat gugus fungsi hidroksil dan amina yang dapat berinteraksi secara elektrostatis dengan molekul air. Hal ini yang menyebabkan daya *swelling* BKU lebih rendah dibandingkan BKBU. Adanya peningkatan *swelling* pada BKBU disebabkan penambahan biochar dalam matriks hidrogel kitosan. Biochar merupakan material berpori sehingga berkontribusi pada peningkatan persen DSA (Arif Novan & Maharani, 2017). Selain itu, adanya gugus fungsi hidroksil dan karboksil yang melimpah sehingga membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air dan meningkatkan daya serap air pada BKBU.

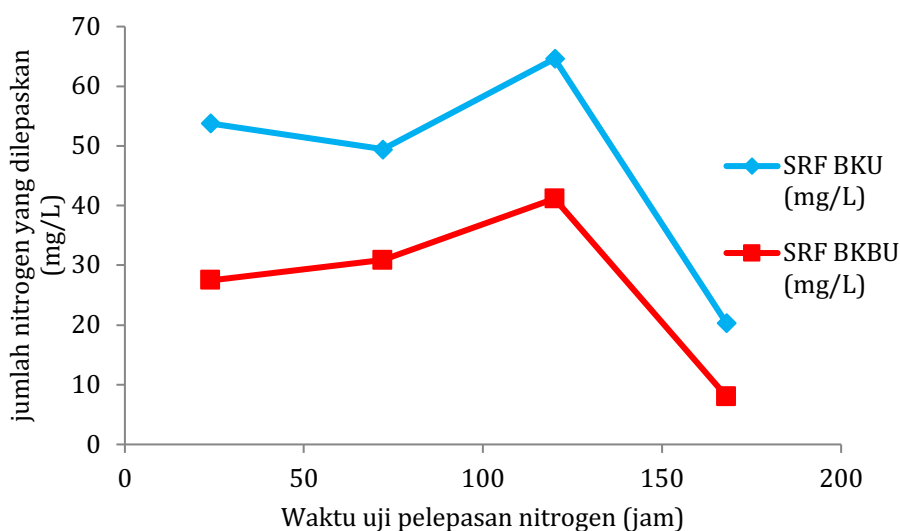


**Gambar 3.** Struktur (a) Biochar dan (b) Polimer Kitosan

### Analisis Pelepasan Nitrogen

Pengukuran pelepasan nitrogen BKU dan BKBU dianalisis dengan menggunakan metode kjeldahl. Pengukuran ini yang dilakukan selama 24 jam, 72 jam, 120 jam dan 168 jam di dalam air. Hasil pelepasan nitrogennya dapat dilihat pada Gambar 4.





**Gambar 4.** Uji Pelepasan Nitrogen

Gambar 4 menunjukkan bagaimana perbedaan pelepasan nitrogen pada BKU dan BKBU. Pada BKU pelepasan nitrogen pada waktu perendaman 24 jam menunjukkan bahwa nitrogen yang dilepaskan sebanyak 53,8 mg/l sedangkan pada BKBU sebanyak 27,49 mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa BKU melepaskan nitrogen lebih banyak dibandingkan dengan BKBU dimana jumlah nitrogen yang dilepaskan pada rentang waktu yang sama berbeda sangat signifikan karena BKU melepaskan nitrogen dua kali lebih banyak dari BKBU. Pelepasan nitrogen mengalami peningkatan pada waktu 24-120 jam namun demikian jumlah pelepasan nitrogen oleh BKU selalu lebih banyak dibandingkan BKBU. Rendahnya sifat mekanik kitosan pada BKU menyebabkan kemampuan *swelling* atau ‘membengkak’ rendah sedangkan kemampuan menyerap air yang sangat baik sehingga air yang diserap mampu melarutkan nitrogen melewati dinding jaringan polimer kitosan. Semakin lama waktu dapat terjadi pemutusan ikatan polimer jaringan kitosan dengan urea sehingga jumlah nitrogen yang dilepaskan terus mengalami peningkatan.

Pada BKBU dengan adanya penambahan biochar, nitrogen dilepaskan secara perlahan-lahan namun tetap mengalami peningkatan jumlah pelepasan seiring dengan waktu berjalan (Mangallo et al., 2022). Adanya interaksi elektrostatik antar gugus fungsi pada biochar dan kitosan memperkuat jaringan polimer kitosan sehingga meningkatkan sifat mekanik material dan urea semakin terlindungi oleh material kitosan-biochar (Susilowati et al., 2018). Efek *coating* atau pelapisan kitosan-biochar pada urea disertai dengan peningkatan kekuatan mekanik menyebabkan sifat hidrofobik BKBU semakin tinggi sehingga berpengaruh pada jumlah rendahnya jumlah nitrogen yang dilepaskan. Pada waktu 168 jam Lantanida Journal, 12(2): 113-123

terlihat bahwa terjadi penurunan jumlah nitrogen yang dilepaskan dikarenakan ketersediaan nitrogen telah berkurang namun demikian jumlah yang dilepaskan BKU lebih tinggi dibandingkan BKBU. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah nitrogen yang dilepaskan BKBU lebih sedikit sehingga ketersediaan unsur hara dapat lebih lama untuk diserap dibandingkan BKU yang melepaskan nitrogen dalam jumlah lebih banyak menyebabkan kehilangan unsur hara lebih cepat sehingga waktu ketersediaan nitrogen lebih pendek.

## KESIMPULAN

Bead pupuk urea lepas lambat dengan material pelapis kitosan-biochar telah berhasil disintesis dengan adanya puncak-puncak gugus fungsi spesifik melalui hasil karakterisasi spektra FTIR. Hasil uji daya serap air menunjukkan bahwa BKBU memberikan persen DSA sebesar 81% lebih tinggi dibanding BKU yakni 72%. Penambahan biochar pada kitosan membentuk bead komposit BKBU menunjukkan hasil pelepasan nitrogen secara terkontrol lebih efektif dibandingkan tanpa biochar dengan pelepasan nitrogen pada 24 jam, 72 jam, 120 jam 168 jam berturut-turut 27,49 mg/L; 30,90 mg/L; 41,17 mg/L dan 8,02 mg/L.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM Kemenristekdikti atas bantuan dana Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2024 melalui program Hibah Penelitian Dosen Pemula Tahun Anggaran 2024 Tahun Pelaksanaan 2024 Nomor 0459/E5/PG.02.00/2024 Tanggal 30 Mei 2024 tentang Penerima Program Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Program Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2024.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amin, A., Khairi, N., & Allo, E. (2019). Sintesis dan karakterisasi kitosan dari limbah cangkang udang sebagai stabilizer terhadap Ag nanopartikel. *Fullerene Journal of Chemistry*, 4(2), 86.
- Arif Novan, & Maharani, D. K. (2017). Kajian Daya Serap Air ( Swelling ) Pupuk Urea Slow Release Fertilizer ( Srf ) Menggunakan Matriks Kitosan-Zeolit Swelling Studying Of Urea Slow Release Fertilizer ( Srf ) Using Chitosan-Zeolite Matrix. *UNESA Journal of Chemistry*, 6(2), 91–93.
- Hartatik, W., Mardiyati, E., Wibowo, H., Sukarto, A., & Yusron, Y. (2020). Formulasi dan Pola Kelarutan N Pupuk Urea-Zeolit Lepas Lambat. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 44(1), 61–70.
- Herianus, M., Loth, B., & Zakarias A, M. (2024). Membranes with Chitosan-Chitosan/Phthalate Matrix and Montmorillonite-Carbon Nanotubes Filler for DMFC *Lantanida Journal*, 12(2): 113-123

- Applications. *Indonesia Chimica Acta*, 17(1), 37–46.
- Herlambang, S., Yudhiantoro, D., Gomareuzzaman, M., & ... (2022). *Biochar Inovasi Zero-Waste Organik*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UPN Veteran Yogyakarta.
- Jayanudin, J., & Lestari, R. S. D. (2020). Enkapsulasi dan Karakterisasi Pelepasan Terkendali Pupuk NPK Menggunakan Kitosan Yang Ditaut Silang Dengan Glutaraldehyda. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 110.
- Karbeka, M., & Lanula, L. Pengaruh Penggunaan Biochar Sekam Padi Dan Bokashi Sebagai Pembenh Sifat Kimia Tanah. *Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia I*, 28–34.
- Kuczuk, A. (2019). Nitrogen leaching from soils in the aspect of its balance. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 64(3), 39–50.
- Lestari, S., Yuningsih, L. M., & Muharam, S. (2022). Hidrogel Superabsorben Berbasis Natrium Alginat-Bentonit sebagai Pelapis Pupuk Lepas Lambat. *Jurnal Riset Kimia*, 13(1), 58–67.
- Mangallo, B., Raturoma, R. K. M., & Langsa, M. H. (2022). Komposit Kitosan-Silika Abu Sekam Padi Sebagai Pupuk Lepas lambat  $Fe^{2+}$  dan  $Mn^{2+}$ . *Jurnal Natural*, 17(2), 97–103.
- Mashuni, M., Ritonga, H., Jahiding, M., & Hamid, F. H. (2022). Sintesis Kitosan dari Kulit Udang sebagai Bahan Membran Elektrode Au/Kitosan/GTA/AChE untuk Deteksi Pestisida. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 112–121.
- Sholeha, N. A., Wiraguna, E., Urip, T., Sujarnoko, P., & Budiono, D. (2024). Fabrication and Effectiveness of Composite Materials in Urea Slow-Release Fertilizers : A Mini-Review. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 14(5), 1–20.
- Susanti, R., Rugayah, R., Widagdo, S., & Pangaribuan, D. H. (2021). Pengaruh Dosis Pupuk Urea Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kailan (*Brassica oleracea* var. *alboglabra* ). *Jurnal Agrotek Tropika*, 9(1), 137.
- Susilowati, E., Mahatmanti, F. W., & Haryani, S. (2018). Sintesis Kitosan-Silika Bead sebagai Pengadsorpsi Ion Logam Pb ( II ) pada Limbah Cair Batik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 1–9.
- Zakarias Mautuka, Astriana Maifa, M. K. (2022). Pemanfaatan Biochar Tongkol Jagung Guna Perbaikan Sifat Kimia Tanah Lahan Kering. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(3), 178–183.